

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерная школа ядерных технологий

Специальность: 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы			
Проект цеха получения триоксида вольфрама, производительностью 400 тонн в год по готовой продукции			
УДК 661.87.046.4.001.6			
Студент			
Группа	ФИО	Подпись	Дата
0422	Шестаков Иван Геннадьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ХТРЭ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Тухватулина Лилия Равильевна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ХТРЭ	Акимов Дмитрий Васильевич			

По разделу «Автоматизация процесса»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭАФУ	Вильнина Анна Владимировна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Нормоконтролер	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ХТРЭ	Петлин Илья Владимирович	к.т.н.		
Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Крайденко Роман Иванович	д.х.н.		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП 18.05.02
«Химическая технология материалов современной энергетики»,

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания и детальное понимание научных принципов профессиональной деятельности
P2	Ставить и решать инновационные задачи, связанные с получением и переработкой материалов и изделий ядерного топливного цикла, с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии материалов современной энергетики
P3	Эксплуатировать и совершенствовать действующие, разрабатывать и внедрять новые современные высокотехнологичные процессы и линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, контролировать расходование сырья, материалов, энергетических затрат
P4	Обеспечивать радиационную безопасность, соблюдать правила охраны здоровья и труда при проведении работ, выполнять требования по защите окружающей среды; оценивать радиационную обстановку; осуществлять контроль за сбором, хранением и переработкой радиоактивных отходов различного уровня активности с использованием передовых методов обращения с РАО
P5	Уметь планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования в области изучения свойств и технологии материалов современной энергетики с использованием новейших достижений науки и техники, уметь обрабатывать и критически оценивать полученные данные, делать выводы, формулировать практические рекомендации по их применению; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
P6	Разрабатывать новые технологические схемы, рассчитывать и выбирать оборудование, применять средства автоматизации, анализировать технические задания и проекты с учетом ядерного законодательства
<i>Универсальные компетенции</i>	

P7	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, ориентироваться в ценностях бытия, жизни, культуры; иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем
P8	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области изучения свойств, методов и технологий получения и переработки материалов современной энергетики
P9	Применять иностранный язык в сфере коммуникаций и профессиональной деятельности, представлять результаты научных исследований и разработок в виде отчетов, публикаций, публичных обсуждений
P10	Уметь эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, руководить командой, быть способным оценивать, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность; следовать корпоративной культуре организации, кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность): 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

Кафедра: «Химическая технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) Р.И. Крайденко

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

дипломного проекта

Студенту:

Группа	ФИО
0422	Шестакову Ивану Геннадьевичу

Тема работы:

Проект цеха получения триоксида вольфрама из паравольфрамата аммония, производительностью 400 тонн в год по готовой продукции.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

30.12.2017

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Проект цеха получения триоксида вольфрама из паравольфрамата аммония, производительностью 400 тонн в год по готовой продукции
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Введение 2. Обзор литературы 3. Расчеты и аналитика 3.1. Теория процесса (термодинамика, кинетика) 3.2. Приборы и методы анализа 3.3. Разработка и описание аппаратурно-технологической схемы. 3.4. Расчет материального баланса технологической схемы 3.5. Расчет теплового баланса технологической схемы 3.6. Расчет основного аппарата.

	3.6.1. Расчет геометрии и габаритов основного аппарата 3.6.2. Механический расчет основного аппарата 3.6.3. Гидравлический расчет основного аппарата 3.6.4. Энергетический расчет основного аппарата 4. Результаты расчетов 5. План размещения оборудования 5.1. Подбор основного технологического оборудования 5.2. Расчет геометрии и габаритов оборудования 5.3. Энергетический расчет технологической схемы 5.4. План размещения оборудования 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 7. Социальная ответственность 8. Автоматизация процесса 9. Заключение 10. Список использованных источников
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Сборочный чертеж основного аппарата А1 (ГОСТ 2.001-93...2.034-83). 2. Аппаратурно-технологическая схема 3. План размещения оборудования Презентация Power Point Presentation
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Тухватулина Лилия Равильевна, доцент кафедры менеджмента, к.ф.н.
Социальная ответственность	Акимов Дмитрий Васильевич, ассистент кафедры ХТРЭ
Автоматизация процесса	Вильнина Анна Владимировна, доцент кафедры ЭАФУ, к.т.н.
Нормоконтролер	Петлин Илья Владимирович, старший преподаватель кафедры ХТРЭ, к.т.н.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.10.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ХТРЭ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0422	Шестаков Иван Геннадьевич		

Реферат

Данная работа содержит 94 листа пояснительной записки, 2 рисунка, 21 таблица, 30 литературных источников, сборочный чертеж в формате А1, спецификация, аппаратурно-технологическая схема А1, схема цеха А1, схема автоматизации А3.

Ключевые слова: вольфрамат аммония, паравольфрамат аммония, вольфрамовый концентрат, триоксид вольфрама, вольфрам, барабанная печь, выпарной аппарат, автоматизация, тепловой баланс, материальный баланс.

В данном дипломном проекте разработан цех получения триоксида вольфрама из паравольфрамата аммония, производительностью 400 тонн в год по готовой продукции. Температура проведения процесса – 600 °С, обогрев печи производится природным газом.

Цель работы: спроектировать цех получения триоксида вольфрама из паравольфрамата аммония, производительностью 400 тонн в год по готовой продукции.

В ходе проекта была изучена литература по данной тематике, рассмотрены основные методы переработки вольфрамовых руд, описаны основные характеристики и принцип работы барабанной вращающейся печи. Представлены материальный и тепловой расчеты оборудования цеха, основные аппаратурные расчеты, расчет ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Рассмотрен раздел социальной ответственности в рамках цеха, разработана схема автоматизации процесса. Так же представлен чертёж печи, технологическая обвязка цеха, план расположения оборудования в цехе.

Степень внедрения: проект находится на стадии разработки.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе приведены следующие термины и их определения:

Цех: производственное подразделение, объединяющее ряд рабочих мест, сгруппированных по определённому признаку, осуществляющее часть общего производственного процесса по изготовлению продукции или обслуживанию процесса производства;

Химическая технология: наука о наиболее экономичных и экологически обоснованных методах химической переработки сырых природных материалов в предметы потребления и средства производства;

Гидрометаллургия: выделение металлов из руд, концентратов и отходов производства с помощью водных растворов определённых веществ (химических реагентов);

Обогащение: совокупность методов разделения металлов и минералов друг от друга по разнице их физических и/или химических свойств;

Барабанная вращающаяся печь: промышленная печь для обжига и сушки сырья и полупродуктов;

Триоксид вольфрама: бинарное химическое соединение, содержащее кислород и переходный металл вольфрам. Обладает кислотными свойствами;

Паравольфрамат аммония: химическое соединения, представляющее собой белые кристаллы с формулой $(\text{NH}_4)_{10}[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}] \cdot x\text{H}_2\text{O}$;

Реагент: химическое вещество (обычно в виде водного раствора), используемое для выщелачивания или ускорения извлечения полезного компонента;

Техника безопасности (охрана труда): система технических, санитарногигиенических и правовых мероприятий, обеспечивающих безопасные для жизни и здоровья условия труда работающих. Удельный расход реагента – количество реагента, расходуемого на извлечение единицы массы полезного компонента (кг/кг) или на взаимодействие с его минеральной массой (кг/т, %);

Фильтрация: движение жидкости в пористой среде под действием гравитации или градиента напора.

В данной работе применены следующие сокращения и обозначения:

ЮАР – Южно-Африканская Республика;

ПВА – поливольфрамат аммония;

ТНК – техническая кислота;

ХОВ – химически-опасные вещества;

СИЗ – средства индивидуальной защиты;

СНиП – санитарные нормы и правила.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.003–2014.ССБТ. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда.Шум. Общие требования безопасности. – М.: Межгосударственный стандарт по стандартизации, метрологии и сертификации, 2014. – 16 с.

ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

Строительные нормы и правила СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение – М.; 2003. – 58 с.

ГОСТ 12.1.009–76. Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда. Термины и определения. –М.: Электробезопасность, 1976. – 2 с.

ГОСТ Р 1.5-2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

ГОСТ 2.104-2006 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Основные надписи. ГОСТ 2.105-95 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.106-96 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Текстовые документы.

ГОСТ 2.721-74 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.

ГОСТ 3.1102-2011 Единая система технологической документации (ЕСТД). Стадии разработки и виды документов. Общие положения.

ГОСТ 3.1105-2011 Единая система технологической документации (ЕСТД). Формы и правила оформления документов общего назначения.

ГОСТ 24.303-80 Система технической документации на АСУ. Обозначения условные графические технических средств.

Оглавление

Введение.....	12
1. Обзор литературы.....	14
1.1 Рудное сырье вольфрама	14
1.1.1 Минералы вольфрама	14
1.1.2 Месторождения вольфрама.....	15
1.1.3 Обогащение вольфрамовых руд	17
1.2 Обзор существующих способов переработки вольфрамовых концентратов.....	18
1.2.1 Спекание (сплавнение) с содой.....	19
1.2.2 Автоклавный способ разложения вольфрамовых концентратов содой .	21
1.2.3 Разложение растворами едкого натра	22
1.2.4 Кислотные способы вскрытия концентратов	22
1.2.5 Фтораммонийный способ вскрытия концентратов	23
1.3 Обзор существующего аппаратурного оформления процесса	24
1.4 Основы проектирования цеха	33
2 Расчеты и аналитика	14
2.1 Технологическая схема процесса получения триоксида вольфрама	36
2.2 Объект и методы исследования	37
2.3 Материальный расчет процесса получения триоксида вольфрама	37
2.4 Тепловой расчет процесса получения триоксида вольфрама.....	39
2.5 Аппаратурный расчет	42
2.6 Расчет цилиндрической обечайки	46
2.7 Расчет штуцеров.....	47
2.8 Расчет массы печи	49
2.9 Расчет шнекового транспортера	50
2.10 Расчет теплоизоляционного слоя	50
2.11 Результаты расчетов	51
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность ресурсосбережение.....	52
3.1 Сравнение технологий вольфрамсодержащего сырья	52
3.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	53

3.3 Расчет затрат на аренду и модернизацию помещения	54
3.4 Расчёт эффективного фонда времени	55
3.5 Расчет капитальных затрат.....	62
3.6 Заключение по разделу	68
4 Социальная ответственность	69
4.1 Описание технологического процесса на предмет возникновения вредных и опасных факторов	69
4.1.1 Классификация опасных и вредных производственных факторов.....	69
4.2 Анализ выявленных вредных факторов производственной среды.....	70
4.2.1 Шум и вибрация	70
4.2.2 Химические вещества	72
4.2.3 Производственное освещение.....	74
4.2.4 Микроклимат	75
4.3 Анализ выявленных опасных факторов производственной среды.....	77
4.3.1 Механические опасности	77
4.3.2 Электробезопасность	78
4.3.3 Пожарная безопасность	79
4.4 Охрана окружающей среды	80
4.5 Защита в чрезвычайных ситуациях	81
4.6 Заключение по разделу	83
5 Автоматизация процесса получения триоксида вольфрама	84
5.1 Перечни технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации.....	85
5.2 В данной схеме автоматизации используются следующие контрольно-измерительные приборы.....	86
5.3 Заключение по разделу	88
Заключение	89
Список публикаций студента.....	90
Список использованных источников	91

Введение

Процессы и аппараты химической технологии изучают теоретические основы типовых процессов химической технологии, принципы устройства оборудования для проведения этих процессов, основные методы расчета типовых процессов и аппаратов.

Использование достижений химии позволило человеку более эффективно использовать имеющиеся ресурсы, создать вещества с новыми свойствами.

Вольфрам является основой твердых и многих высокотемпературных сплавов, является частью износостойких сплавов и инструментальных сталей. Производятся вольфрам и сплавы: детали авиационных двигателей, нити и детали в вакуумных устройствах. Кроме того, благодаря своей высокой плотности вольфрам используется для противовесов, артиллерийских снарядов, пуль и сверхскоростных гироскопических роторов для стабилизации полета баллистических ракет (до 180 000 об / мин). Монокристаллы вольфрамата используются в качестве сцинтилляционных детекторов рентгеновских лучей в ядерной физике и ядерной медицине [1].

Для производства триоксида вольфрама в цехе установлена барабанная вращающаяся печь. Печь представляет собой цилиндрический резервуар, слегка наклонный по горизонтали, который медленно вращается вдоль своей оси. Вещество, подлежащее обработке, подается в верхнюю часть барабана. Пока печь вращается, вещество плавно опускается на нижнюю часть и подвергается смешиванию и перемешиванию. Горячие газы проходят через печь, иногда в том же направлении, что и обрабатываемое вещество (параллельно), но обычно в противоположном обратном направлении. Горячие газы могут появляться в отдаленной камере сгорания или образованы из внутреннего пламени в печи. Это пламя выходит из трубы сопла (сопла печи), которое работает как горелка Бунзена. Топливом для этого могут быть газ, нефть, дробленый нефтяной кокс или грунт [2].

Научный дизайн предприятий и создание научных основ для проектирования стало важной задачей в процессе индустриализации. Поэтому ученые разработали научно обоснованную методологию проектирования машиностроительных заводов. В рыночной экономике дисциплина также не утратила своей актуальности. Достижение максимальной эффективности машиностроительного производства, возможность производства конкурентоспособной продукции, гибкий ответ на рыночные условия невозможны без рационального подхода к проектированию предприятий.

Достижение высокой (максимальной) эффективности зависит от рационального выбора:

- Состава цехов (участков, подразделений);
- Номенклатуры оборудования;
- Организации транспортного и энергетического сообщения предприятия.

Кроме всего этого, обеспечение экологической безопасности производства и соответствия нормам и правилам техники безопасности, также, во многом разрабатывается на стадии проектирования предприятия [3].

1. Обзор литературы

1.1 Рудное сырье вольфрама

1.1.1 Минералы вольфрама

Роль в современной технике вольфрама – самого тугоплавкого металла – весьма велика. Производство электронных и электроосветительных приборов, легированных сталей, жаропрочных сплавов – далеко не полный перечень областей его применения.

За последнее десятилетие, в связи с расширением областей применения и масштабов производства вольфрама, его сплавов и соединений, повышением требований к качеству изделий из этого металла, выполнены новые исследования научного и технологического плана.

Вольфрам принадлежит к малораспространенным элементам, средневесовое содержание его в земной коре составляет $1 \cdot 10^{-4} \%$. В самородном состоянии вольфрам практически не встречается. Большинство минералов (известно около 15 видов) представляют собой соли вольфрамовой кислоты – вольфраматы, исключение составляет весьма редкий минерал тунгстенит WS_2 .

Наиболее важные минералы, определяющие два типа промышленно используемых руд – минералы группы вольфраматов железа и марганца (гюбнерит, вольфрамит, ферберит) и вольфрамата кальция – шеелит.

Вольфрамит – $(Fe,Mn)WO_4$ представляет собой изоморфную смесь вольфраматов марганца и железа, образующие между собой ряд твердых растворов. Соотношение между $FeWO_4$ и $MnWO_4$ в таких растворах различное. Если в изоморфной смеси более 80 % $FeWO_4$, то такой минерал называется ферберит; если в смеси более 80 % $MnWO_4$, то минерал – гюбнерит. Но такие члены ряда встречаются крайне редко. Наиболее распространенным является вольфрамит, состав которого лежит между вышеуказанными пределами.

Минералы окрашены в черный, коричневый или красновато-коричневый цвет. Плотность их колеблется от 6,9 до 7,8 г/см³, твердость по Моосу

составляет 5,0-5,5. Вольфрамиты относятся к слабомагнитным минералам. Кристаллизуются в моноклинной сингонии.

Содержание WO_3 в минералах группы вольфрамита колеблется от 76,3 до 76,6 %. В них часто содержатся примеси тантала, ниобия, молибдена, скандия и других элементов.

Шеелит – $CaWO_4$ кристаллизуется в тетрагональной сингонии. большей частью минерал окрашен в желтый, серый или бурый цвет. Плотность составляет 5,8-6,2 г/см³, твердость по Моосу 4,5. Шеелит относится к немагнитным минералам. Минерал иногда содержит в форме изоморфной примеси повеллит ($CaMoO_4$). Содержание молибдена в шеелитах некоторых месторождений достигает 10 %.

При облучении ультрафиолетовыми лучами шеелит флуоресцирует сине-голубым светом, что используется для обнаружения его в забоях. Однако при содержании молибдена более 1 % синяя флуоресценция исчезает.

К другим минералам вольфрама, которые не имеют промышленного значения, относятся: тунгстит (вольфрамовая охра) $WO_3 \cdot H_2O$; купротунгстит $CuWO_4 \cdot H_2O$, штольцит $PbWO_4$; чиллалгит $Pb(Mo,W)O_4$; ферритунгстит $Fe_2WO_4(OH)_4 \cdot 4H_2O$; тунгстенит WS_2 [4].

1.1.2 Месторождения вольфрама

Магматические месторождения вольфрама неизвестны. Все рудные месторождения связаны с пневматолитическими и гидротермальными процессами. В какой форме вольфрам находится в постмагматических рудоносных растворах, еще недостаточно установлено.

Наиболее вероятными формами миграции вольфрама в гидротермальных условиях являются растворенная недиссоциированная вольфрамовая кислота и гидровольфрамат-ион (HWO_4^-).

Для месторождений, в которых процесс рудообразования происходит с участием F^- ионов, возможен перенос вольфрама в форме оксофторовольфраматов щелочных металлов $WO_2F_4^{2-}$ и $WO_3F_2^{2-}$. Для

низкотемпературных месторождений (до 200 °С) в слабокислых растворах вольфрам переносится в форме гетерополисиоединений, в частности кремневольфрамовой кислоты $H_4[Si(W_3O_{10})_4]$.

Месторождения вольфрама подразделяют на следующие группы: контактно-метасоматические (скарновые), грейзеновые, жильные гидротермальные и россыпные.

Контактно-метасоматические (скарновые) месторождения относятся к крупнейшим и имеют важное промышленное значение. Они приурочены преимущественно к зонам контактов гранитоидов повышенной основности с карбонатными толщами. Главные минералы известковых скарнов – пироксены и гранаты. Вольфрам представлен в таких месторождениях единственным эндогенным минералом – шеелитом (иногда молибденошеелитом $Ca(W, Mo)O_4$). В рудах этого типа часто присутствуют кальцит, доломит, апатит, барит. К месторождениям скарнового типа относятся Тырны-Ауз (Северный Кавказ, Россия), Кинг-Айленд (Австралия), Азегур (ЮАР) и др.

Грейзеновые месторождения имеют широкое распространение и отличаются крупными запасами. Данные месторождения образованы при изменении гранитных пород под действием газов и растворов, отделяющихся от охлаждающихся гранитных тел. Основной минерал вольфрама в грейзеновых месторождениях – вольфрамит, шеелит встречается редко. Обычный спутник – касситерит (оловянно-вольфрамовые месторождения). Содержат мелкую вкраплённость вольфрамита, иногда кварц-вольфрамитовые прожилки. К данному типу относятся месторождения: Акчатау (Казахстан), Спокойнинское (Восточное Забайкалье), Тарингтон (Австралия) и др.

Жильные гидротермальные месторождения занимают главное положение в мировой добыче вольфрама. Руды залегают в виде кварцевых жил различной мощности и протяженности. Наибольшее промышленное значение имеют кварц-касситерит-вольфрамитовые и кварц-вольфрамитовые месторождения. Подчиненное значение имеют кварц-золото-шеелитовые рудные жилы, содержащие ферберит, киноварь, барит. К месторождениям этого типа

относятся Джидинское (Бурятия), Антоновское (Восточное Забайкалье), Ильтин (Чукотка) и др.

Россыпные месторождения вольфрама образованы в результате размыва коренных пород. Широко распространены делювиальные и аллювиальные россыпи, содержащие вольфрамит и шеелит. Россыпи бедней по содержанию вольфрама, чем жильные месторождения, и в настоящее время их промышленное значение невелико. Содержание WO_3 в песках разрабатываемых россыпей колеблется от одного до нескольких килограммов на 1 м^3 песков. Наиболее крупные россыпные месторождения вольфрама расположены в Юго-Восточной Азии, где вольфрамит часто встречается с касситеритом и иногда с лумбитом.

Минимальное содержание WO_3 в рудах, при которых рентабельна и экономически целесообразна их эксплуатация, составляет 0,14-0,15 % для крупных месторождений и 0,4-0,5 % для мелких.

Россия занимает второе место после Китая по объемам запасов вольфрама. Руды, в которых сосредоточен вольфрам, относятся к бедным с содержанием вольфрама 0,04-0,15 % WO_3 – месторождения Забайкалья, 0,35-1,7 % WO_3 – месторождения Дальнего Востока.

Наиболее важные иностранные месторождения вольфрама образуют огромное прерывистое кольцо вдоль западного и восточного побережья Тихого океана [1].

1.1.3 Обогащение вольфрамовых руд

Вольфрамовые руды обогащают, получая стандартные концентраты, содержащие 55-65 % WO_3 . Поскольку руды обычно содержат от 0,2 до 2 % триоксида вольфрама, степень обогащения составляет от 30 до 120. Высокая степень обогащения достигается применением нескольких последовательных методов: гравитационного обогащения, флотации, магнитной и электростатической сепарации, химического обогащения.

Обстоятельный обзор методов и схем обогащения вольфрамовой руды содержится в работе М.А. Фишмана и Д.С. Соболева.

Схемы обогащения руды обычно включают в себя следующие операции: сортировка, дробление, обогащение в тяжелых суспензиях, установка, обогащение на винтовых сепараторах, шлифование в стержневых или шаровых мельницах, классификация. Сортировка руды после большого измельчения осуществляется на конвейерных лентах после промывки. Высокая плотность вольфрамита обеспечивает возможность его разделения гравитационными методами из минералов с плотностью ниже 4 г / см^3 (кварц, карбонаты, полевой шпат и т. д.).

Отделение вольфрамита от касситерита осуществляется методом магнитной сепарации (вольфрамит слабомагнитен). Магнитной сепарации иногда предшествует обжиг, с целью перевода пирита в магнетит.

Для отделения сульфидных минералов от вольфрамита используют флотацию в кислой среде, используя в качестве реагентов ксантогенат и керосин [2].

1.2 Обзор существующих способов переработки вольфрамовых концентратов

В промышленности используют различные способы переработки концентратов с целью получения триоксида вольфрама, служащего исходным материалом для производства вольфрама, карбида вольфрама и множества других соединений промышленного значения. Конечными продуктами процессов переработки сырья обычно являются гидратированный триоксид $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (технологическое название – вольфрамовая кислота) или паравольфрамат аммония (ПВА) $5(\text{NH}_4)_2\text{O} \cdot 12\text{WO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, при термическом разложении которых получают WO_3 .

Выбор схемы переработки зависит от типа и состава концентратов (вольфрамитовый или шеелитовый), масштабов производства, требований к чистоте и физическим характеристикам триоксида вольфрама и ряда

конкретных условий, которые определяют стоимость и целесообразность переработки сырья.

Известные способы можно подразделить на 3 группы:

1. Конечный результат разложения – растворы вольфрамата натрия Na_2WO_4 . К этой группе относятся процессы разложения с использованием соды, щелочей, нейтральных солей (NaF , NaNO_3 и др.). Из растворов (после отделения от примесей) выделяют малорастворимые соединения вольфрама (кристаллогидрат триоксида вольфрама $\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, вольфрамат кальция CaWO_4) или извлекают вольфрам из растворов методами экстракции или ионного обмена.

2. Конечный результат разложения – осадки технической вольфрамовой кислоты. Сюда относятся способы разложения концентратов минеральными кислотами. Полученную вольфрамовую кислоту (техническую) растворяют в аммиачной воде (удаление примесей в виде гидроксидов) и выделяют из аммиачного раствора паравольфрамат аммония или вольфрамовую кислоту.

3. Конечный результат разложения – конденсат летучих галогенидов и оксигалогенидов вольфрама. К этой группе относятся способы, основанные на хлорировании или фторировании сырья галогенами или их соединениями (фтораммонийная переработка). Гидролитическим разложением конденсата галогенидов и оксигалогенидов получают вольфрамовую кислоту.

Для извлечения вольфрама из стандартных концентратов обычно применяют способы вскрытия такие, как кислотное разложение, спекание с содой и др. Для переработки низкокачественных некондиционных продуктов используется процессы содового автоклавного выщелачивания [4].

1.2.1 Спекание (сплавление) с содой

Это универсальный способ разложения вольфрамитовых и шеелитовых концентратов, широко используемый в промышленности.

Спекание вольфрамита с содой. При температуре 800-900 °С вольфрамит активно реагирует с содой по необратимым реакциям.

В отсутствии кислорода:



В присутствии кислорода:



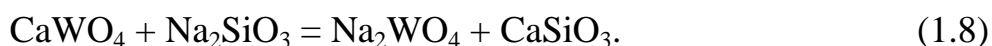
Избыток соды в шихте 10-20 % сверх стехиометрического необходимого количества (СНК) обеспечивает высокую степень разложения концентрата, которая составляет приблизительно 99,5 %. Иногда для ускорения процесса в шихту добавляют окислитель – натриевую селитру NaNO_3 (1-4 % от массы концентрата).

В производственных условиях вольфрамитовый концентрат спекают (сплавляют) с содой в печах периодического или непрерывного действия. Режим зависит от масштаба производства. Периодический процесс применяют при малом масштабе производства. Для такого процесса используют небольшие отражательные печи с площадью пода 6-8 м². При больших масштабах целесообразен непрерывный процесс. Для непрерывного спекания применяют трубчатые вращающиеся печи, футерованные шамотным кирпичом.

Взаимодействие шеелита с содой в интервале 800-900 °С может протекать по двум реакциям:



Параллельно возможно взаимодействие по реакциям:



Оптимальной, для процесса разложения шеелита является шихта, которая содержит 180-200 % Na_2CO_3 от СНК при малярном соотношении $\text{CaO}:\text{SiO}_2 = 2,5$.

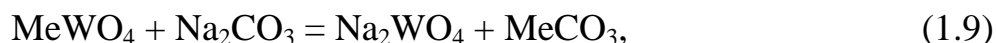
В производственной практике спекание шеелита с содой и кварцевым песком проводят в барабанных печах, футерованных шамотным огнеупором.

1.2.2 Автоклавный способ разложения вольфрамовых концентратов содой

Преимущества автоклавно-содового разложения вольфрамового сырья перед способом спекания состоят в исключении печного процесса, предшествующего выщелачиванию, и несколько меньшем содержании примесей (особенно фосфора и мышьяка) в растворах вольфрамата натрия.

Технология содового автоклавного выщелачивания вольфрамовых минералов была разработана для переработки низкосортных шеелитовых концентратов. После дополнительных исследований, связанных с особенностями поведения железа и марганца в растворах, технология успешно внедрена для переработки вольфрамитовых и гюбнеритовых продуктов.

Автоклавно-содовый процесс основан на взаимодействии соды с вольфраматами железа, марганца и кальция по реакции:



где Me – металл, связанный с вольфрамом в минерале (Fe, Ca или Mn).

С достаточной скоростью и полнотой реакция протекает при большом расходе карбоната натрия (приблизительно 250-300 % от СНК) и температурах 200-225 °С, что требует осуществления процесса в автоклавах. Высокий расход соды обусловлен наличием большого количества примесей, относительно малыми значениями константы равновесия реакции разложения, которая возрастает с повышением температуры и зависит от содового эквивалента, значительно понижаясь по мере его увеличения.

Для полного извлечения вольфрама из шеелита в раствор при 200 °С минимальный содовый эквивалент должен быть равен 2,5, а при 225 °С – 2,0. Эта величина для реальных концентратов, содержащих примеси других минералов, намного выше и зависит от содержания в них триоксида вольфрама.

Процесс содового автоклавного выщелачивания осуществляется в автоклавах – сосудах, находящихся под внутренним давлением периодического или непрерывного действия (в зависимости от масштабов производства).

1.2.3 Разложение растворами едкого натра

При действии раствора едкого натра NaOH на вольфрамит протекает реакция обменного разложения с образованием вольфрамата натрия и гидроксидов железа и марганца:



Полное разложение (приблизительно 98-99 %) достигается при обработке тонкодисперсного концентрата (0,03-0,04 мм) 40-45 % раствором едкого натра при температуре 110-120 °С. Требуемый избыток щелочи для данного процесса составляет 50 % и выше. Разложение раствором едкого натра осуществляют в стальных герметично закрытых реакторах, снабженных мешалками.

Расход щелочи можно снизить и тем самым ускорить вскрытие, если обработку проводить в обогреваемых шаровых мельницах, что объясняется истирающим действием шаров, снимающих с частиц минерала пленки гидроокисей.

Использование этого метода разложения ограничено, так как экономически целесообразно использовать его только для вскрытия высокосортных вольфрамитовых концентратов (65-70% WO₃) с небольшим содержанием примеси кремнезема.

Концентраты целита не разлагаются растворами каустической соды.

1.2.4 Кислотные способы вскрытия концентратов

Одним из распространенных способов переработки шеелитовых концентратов является разложение их концентрированной соляной кислотой при температуре 90-100 °С, с получением технической вольфрамовой кислоты H₂WO₄, очищаемой затем аммиачным способом. Процесс разложения замедляется из-за пленок вольфрамовой кислоты, образующихся на

поверхности минерала. Для полного разложения необходим трёхкратный избыток соляной кислоты от ТНК. Проведение процесса осуществляется в герметичных обогреваемых шаровых мельницах, которые обеспечивают размол минералов и снятие пленок, что снижает расход соляной кислоты до 120 % от ТНК. Данный способ вскрытия применяется при переработке богатых (до 75 %) концентратов в связи с тем, что при вскрытии бедных увеличивается число операций и требуется больший расход реагентов при значительном содержании примесей.

Существует технология азотнокислого вскрытия концентратов. При разложении также образуется техническая вольфрамовая кислота, но вместо вредных хлористых солей получают азотнокислые соли, используемые в сельском хозяйстве в качестве удобрения. Для полного разложения необходим четырёхкратный избыток азотной кислоты от ТНК. Процесс проводят при 100 °С. Вольфрам находится в пульпе в виде коллоидного раствора вольфрамовой кислоты. Для уменьшения содержания вольфрама в жидкой фазе в качестве коагулянта используют аммиачный раствор (до pH=2). При этом примеси сохраняются в растворе, а более 99 % вольфрама осаждается [5].

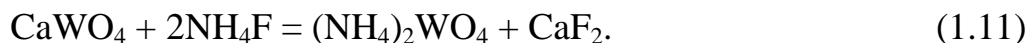
1.2.5 Фтораммонийный способ вскрытия концентратов

В связи с низкими значениями константы равновесия, реакции разложения шеелита растворами соды были проведены исследования по замене карбоната натрия при автоклавном выщелачивании более эффективными реагентами, фторидом аммония.

Фтораммонийная переработка упрощает технологическую схему, так как извлечение вольфрама из шеелитовых концентратов происходит непосредственно в аммиачный раствор. При использовании фторида аммония паравольфрамат аммония получают по самой короткой технологической схеме, исключаящей многие операции – переработку растворов вольфрамата натрия, очистку технической вольфрамовой кислоты и т.п.

Шеелитовые концентраты практически полно (98-99 %) разлагаются растворами фторида аммония в аммиачной среде (10 % NH_3) при температуре 200 °С и 150-170 % от ТНК расходе реагента.

Процесс осуществляется следующей реакцией:



Недостатком аммонийно-фторидного способа разложения шеелита является сложность регенерации вольфрама из аммиачных маточных растворов после выпарки и кристаллизации ПВА. Это объясняется высокой концентрацией в маточных растворах фтор-ионов (15-20 г/л), затрудняющих осаждение [6].

В данной работе используется метод фтораммонийной переработки вольфрамовых концентратов и получением, в результате ее переработки, триоксида вольфрама WO_3 с производительностью 400 т/г.

1.3 Обзор существующего аппаратного оформления процесса

Прокалочная печь:

Барабанные вращающиеся печи обычно называются технологическими агрегатами непрерывной работы с рабочим пространством в виде полого цилиндра, который из-за небольшого наклона ($\sim 2^\circ$) печи и вращения обрабатываемые сыпучие материалы движутся вдоль печь, нагрев за счет тепла, выделяемого при сжигании топлива. Конструктивно они отличаются друг от друга только размерами оболочки и расположением систем для загрузки и выгрузки материала. Название печи обычно отражает ее цель. Например, различные вальцы печи используются для восковых тортов производства цинка, печей для спекания бокситов, кальцинирования глинозема, сжигания ртутьсодержащих материалов, а также печей для сушки различных промежуточных продуктов металлургического производства.

За исключением малораспространенного сырья для сушки сульфидного сырья, трубчатые печи работают в противоточном режиме.

Основными элементами вращающихся печей являются корпус (барабан), приводной механизм, опорные ленты с роликами, а также загрузочные и разгрузочные камеры.

Загруженный в печь материал может иметь разную степень влажности, вплоть до целлюлозы, хранить до 40% воды. Он подается в верхнюю (хвостовую) часть печи и медленно перемещается в сторону газов, образующихся в результате сгорания топлива в головке блока. Из барабана обрабатываемые продукты в виде агломерата или горячего порошкообразного материала поступают в специальный холодильник и газообразные продукты сгорания топлива вместе с технологическими газами в систему очистки пыли и газа. В зависимости от типа технологического процесса для нагрева трубчатых вращающихся печей можно использовать природный газ, мазут и твердое топливо и в виде коксового бриза или угольной пыли. При необходимости для предотвращения загрязнения реагентов используются нагреватели электрического сопротивления.

Корпус печи представляет собой сварную металлическую трубу диаметром до 5 м и длиной до 185 м, облицованную изнутри огнеупорным кирпичом. Он поддерживается специальными роликами, ширина пролета между которыми составляет 20-28 м для больших печей. Чтобы переместить материал, тело наклоняется к горизонту под углом 2,5-3 °. Привод печи, с которым он вращается с частотой около 1 об / мин, состоит из электродвигателя, редуктора и зубчатой передачи. Поддерживающие бинты формы кольца воспринимают всю нагрузку от веса барабана, выдерживая 70-80 тонн. Для больших печей используются кованые бандажи прямоугольного сечения, которые надеваются на тело свободно, с небольшим зазором, с учетом последующего теплового расширения барабана. Каждая повязка поддерживается двумя роликами, вращающимися вместе с повязкой во время работы печи.

Верхний конец печи поступает в камеру подачи. Сухой материал загружается в печь с помощью шнекового питателя через патрубок, расположенный в подающей камере. Твердую массу подают в печь через пульпу с дозатором или со специальным соплом. Захваченная пыль возвращается в барабан печи так же, как сухая шихта.

Трубчатые печи предназначены для исследования различных материалов, а также для их обработки при условии однородной температуры по всему разрезу изделия. Данное оборудование используется для определения температуры плавления металлов, проведения химических анализов, градуировки термпар, различных видов термообработки (закалки, нагрева, обжига) в воздушной среде.

Лабораторные трубчатые печи применяются в сельском хозяйстве, в металлургии, нефтехимической, фармацевтической, пищевой, химической и прочих отраслях промышленности, в исследовательских и заводских лабораториях.

Промышленная печь как тепловой аппарат отличается тем, что в ней получают тепловую энергию за счет сжигания топлива (или за счет электрической энергии электропечей) и передают ее материалу или изделиям, подвергаемым тепловой обработке. Основными теплотехническими процессами в печах являются процессы сжигания и теплопередачи, происходящие часто одновременно в рабочем пространстве печи. При этом большую роль играет создание необходимых условий для движения газов.

Принципы проектирования каждой печи, отличающейся назначением и формой рабочего пространства, различны с точки зрения конструктивного выполнения отдельных элементов. Очень часто печи, предназначенные для одной и той же цели и работающие на одинаковом топливе, в зависимости от условий работы конструктивно отличаются одна от другой.

При проектировании печей нужно учитывать, что к ним предъявляются определенные теплотехнические и технологические требования:

- достаточно высокая тепловая мощность, обеспечивающая эту производительность;
- в рабочем пространстве печи должны быть достигнуты необходимые температуры, соответствующие технологическому способу производства;
- наиболее эффективное сжигание топлива, подаваемого в печь, высокая загрузка топлива, минимальное удельное потребление тепла для стрельбы или другого теплового процесса;
- высокая удельная производительность, высокое качество продукции с заданной производительностью;
- наибольшая экономия в эксплуатации, простота и простота обслуживания;
- максимальная продолжительность работы без ремонта, то есть высокая стойкость огнеупорной кладки, когда подвергаются воздействию высоких температур;
- печь должна быть автоматическим термическим блоком.

При проектировании всегда необходимо обеспечить, чтобы печь наиболее полно отвечала этим требованиям. Однако существующие типы печей почти всегда имеют какие-либо конструктивные и эксплуатационные недостатки. Поэтому постоянно меняется непрерывное совершенствование существующих типов печей и разработка принципиально новых конструкций на основе научных исследований и практики эксплуатации действующих печных установок.

Следует отметить, что наилучшие технико-экономические показатели работы печей достигаются при совмещении отдельных процессов в один общий процесс непрерывного производства, например совмещении сушки с обжигом. Для того чтобы обеспечить высокую производительность печи, нужно наряду с обеспечением достаточного количества подводимого тепла создать в ней запроектированные температуры. Для этого вам необходимо:

- достаточно интенсивная подача тепла, которая зависит от количества сжигаемого топлива, его качества и способа сгорания;

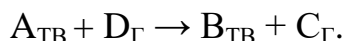
- полное сжигание топлива с минимальным избытком воздуха;
- нагрев воздуха для сжигания, а иногда и отопительное топливо (например, генераторный газ);
- минимальные потери тепла рабочего пространства печи в окружающую среду.

Прокаливание:

Прокаливание – одна из важных операций высокотемпературной переработки соединений вольфрама. Понятие прокаливание охватывает не только процессы термической диссоциации, химическая сущность которых описывается уравнением:



но и различные гетерогенные реакции в системе «газ – твердое» типа



Аппаратуру, служащую для прокаливания, нередко применяют и для процессов сушки, которые могут быть совмещены с прокаливанием. Дегидратация кристаллогидратов во многом аналогична реакциям термического разложения. Аппараты, применяемые в основном для проведения реакций прокаливания – это близкие по конструкции, вращающиеся и шнековые печи, а также реакторы шахтного типа и аппараты псевдосжиженного слоя. Печи прокаливания komponуются в зависимости от их назначения с рядом других аппаратов.

При значительной производительности твердые продукты не успевают охладиться в питающих линиях, поэтому предусматриваются специальные аппараты для их охлаждения.

Все аппараты непрерывно действующей технологической цепочки связаны друг с другом. Для того чтобы при временной остановке одного из реакторов не остановилось все производство, емкость бункеров для промежуточных продуктов должна быть рассчитана на несколько часов работы. С этой целью можно устанавливать параллельные вспомогательные аппараты.

Но главный фактор, обеспечивающий бесперебойную работу – надежность конструкции основных аппаратов. С этой точки зрения лучшими аппаратами для прокаливания являются трубчатые вращающиеся и шнековые печи.

Вращающиеся, шнековые печи. Основные характеристики и конструктивные особенности:

Основные достоинства вращающихся и шнековых печей, которые в целом ряде процессов могут заменять друг друга – простота, надежность, высокая производительность и возможность осуществления непрерывного полностью автоматизированного процесса.

Вращающиеся трубчатые печи перешли в урановую технологию и в производства цветных и редких металлов из цементной промышленности.

В отличие от шнековых и многоподовых скребковых печей (типа печи Герресгофа) трубчатые печи не имеют перемешивающих устройств [7].

Основные части вращающейся трубчатой печи – металлическая труба (реторта), поддерживаемая роликами опорных станций, и головки печи, называемые также камерами (загрузочная, куда поступает материал из питающего бункера, и разгрузочная, находящаяся в более низко расположенной части печи). Камеры служат также для подачи и отвода газов. Для обеспечения горизонтального перемещения материала ось трубы немного наклонена к горизонтали. Внутренняя поверхность реторты может быть гладкой или имеет специальные насадки, гребки и цепи, которые изменяют характер движения материала и тем самым улучшают условия фазового контакта, а иногда и теплопередачи.

Материал на гребке удерживается до тех пор, пока плоскость последнего не образует с горизонталью угол, равный углу α естественного откоса материала. Для более равномерного пересыпания форма лопастей может быть усложнена. Выбор формы насадки зависит от величины кусков или частиц материала и его физических свойств. Форма насадки определяет высоту, с которой происходит падение или скатывание материала. Для влажных кусковых материалов, не склонных к раскалыванию, высота падения может

быть принята максимальной, близкой к диаметру реторты. Условия отстаивания пыли в таких насадках из-за хорошо развитой поверхности улучшаются, однако их применяют лишь при конвективном подводе тепла, поэтому возможности для использования их в промышленности ограничены.

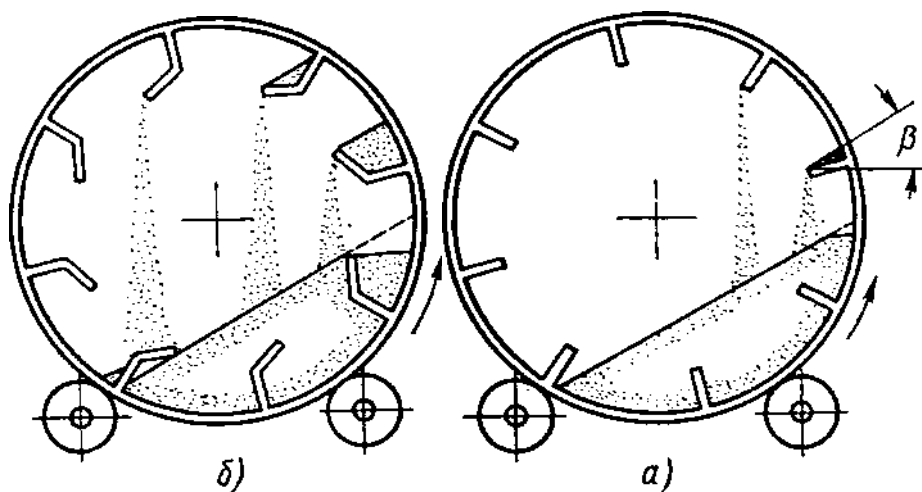


Рисунок 1 – Схемы перемешивания материала в реторте с гребками:

а – простые гребки; б – ковшевидные гребки

Если скорость вращения реторты увеличивается, то при скорости вращения, превышающей критическую, твердый материал в поперечном сечении будет иметь форму кольца, прилегающего к внутренним стенкам реторты. Центр этого кольца будет расположен над центром реторты, а с дальнейшим увеличением скорости он приблизится к центру последнего. При таком режиме работы активная поверхность твердого тела увеличивается в несколько раз, но транспортировка материала по печи затруднена. Более эффективный режим соответствует скорости вращения печи несколько ниже критической (на 20-30%). В то же время плотное кольцо материала не образуется, частицы поднимаются на определенную высоту (в соответствии с их размерами) и падают; в этом случае создаются условия для хорошего контакта с окружающим их газом. Это движение частиц аналогично перемещению частиц в лопастной мешалке, но в этом случае нет развитой поверхности металла, что снижает загрязнение обрабатываемого вещества продуктами коррозии.

Часто подвижные сопла помещают в полые реторты для улучшения смешивания материала. Длина этих неприкрепленных креплений равна длине трубки или несколько меньше ее; сопла могут быть Г-, Т-, Н-образными в поперечном сечении или могут иметь более сложную конфигурацию. Размеры сопла выбираются таким образом, что примерно половина из них выступает из слоя твердого материала в печи; когда реторта вращается, сопла свободно вращаются в ней, захватывая и заливая часть материала.

Одним из важных компонентов вращающейся печи является уплотнение между ее камерами и подвижной ретортой. Уплотнения выполнены в виде масляных уплотнений с асбестовыми уплотнениями. Известны лабиринты, радиальные и торцевые уплотнения. Иногда инертный газ подается под небольшим избыточным давлением в зазор между подвижной и неподвижной частью уплотнения. Однако для обеспечения полной герметизации очень сложно, поэтому, если в печи имеются взрывоопасные, ядовитые и коррозионные газы, местное всасывание устанавливается над камерами. Трудность создания достаточно надежных уплотнений между вращающимися и неподвижными частями печи возрастает с увеличением размеров реактора, поэтому необходимо учитывать это при выборе количества единиц для обеспечения заданной емкости мастерских, офисов и т. Д.

Шнековые реакторы представляют собой неподвижные трубы или лотки, внутри которых вращается винтовая мешалка (шнек), являющаяся рабочим органом. Ось мешалки крепят с помощью сальниковых уплотнений на торцах корпуса. При значительной длине реактора во избежание провисания и заклинивания шнека его крепят при помощи промежуточных подшипников, устанавливаемых в барабане. Отверстия для загрузки и выгрузки материала, а также для подачи и отвода газов могут быть выполнены практически в любой части реактора по его длине.

В отличие от вращающихся печей шнековые реакторы применяют в тех случаях, когда необходима более тщательная герметизация процесса.

Например, при фторировании и гидрофторирования урана, когда даже небольшие утечки газов из реакционной зоны могут привести к тяжелым поражениям обслуживающего персонала и авариям, применение вращающихся печей значительной производительности очень ограничено. В связи с этим единственным типом аппаратов непрерывного действия, которые длительное время применяли в таких производствах, были шнековые реакторы

Второй причиной, обуславливающей замену вращающихся печей шнековыми, является склонность перерабатываемого материала к налипанию на стенки аппарата; это характерно для большинства фторидных процессов.

Наконец, большее предпочтение отдается шнековым реакторам при необходимости более равномерного распределения температур в слое материала и более строгого температурного контроля процесса. Поскольку корпус печи неподвижен, то подводить и отводить тепло в этом случае можно с помощью жидкого теплоносителя, что значительно улучшает теплопередачу и снижает потери тепла. Чаще, однако, используют внешние электрические нагреватели или погружные нагревательные элементы.

Применение шнекового реактора позволяет создавать любое число температурных зон реакции. Реактор при этом может быть разбит на две-три секции, размещенные друг под другом.

При вращении шнека твердый сыпучий материал и перемешивается и транспортируется. Соотношение между скоростью горизонтального движения материала и степенью его перемешивания определяется шагом винта и его формой. По форме различают шнеки сплошные, ленточные, лопастные, фасонные и т. д. Сплошные и ленточные шнеки применяют при переработке или транспортировании тонких сыпучих порошков. Многоходовые (в данном случае четырехходовой) винты обладают преимуществами по сравнению с одноходовыми. Производительность аппарата при одном и том же времени пребывания в нем твердого материала и использовании многоходового винта может быть увеличена, так как подача материала происходит более равномерно, а обновление активной поверхности – более интенсивно.

Основные недостатки шнековых реакторов – повышенный расход энергии на единицу продукции, а также сильное истирание шнека и корпуса материалом и, как следствие этого, загрязнение продукта.

Кроме того, шнековые реакторы имеют ряд недостатков, относящихся в полной мере и к вращающимся печам:

1. Плохой фазовый контакт твердого и газа из-за малой величины активной поверхности материала. Следствием этого является необходимость увеличения продолжительности процесса, т. е. снижение производительности, или применение газообразного реагента в гораздо большем количестве, чем это требуется по стехиометрически.

2. Небольшая производительность в единицу объема аппарата. Степень заполнения камер материалом не превосходит 25 % объема аппарата для трубчатых вращающихся и 40 % для шнековых.

3. Из-за плохих условий теплопередачи от стенки печи к зернистому материалу требуется значительное время для нагрева и охлаждения слоев. Кроме того, возможны значительные колебания температуры в печи.

4. Стенки корпуса аппаратов, расположенные около нагревательных элементов, обычно имеют более высокую температуру, чем материал, и поэтому сильно корродируют.

Наиболее простым реактором, в котором достигается максимальное реагирование при практически полной утилизации реагирующего газообразного вещества, является печь шахтного типа с движущимся под действием гравитационных сил, слоем кускового или гранулированного материала. Реакция в этом случае протекает на хорошо развитой поверхности, время контакта достаточно велико, объем аппарата используется почти полностью [7].

1.4 Основы проектирования цеха

Разработка плана производства и реализации продукции в рыночных условиях является главной задачей комплексного планирования социально-

экономического развития предприятия. Производственный план определяет общее направление предполагаемого роста всех подразделений фирм и организаций, основной профиль планируемой, организационной и управленческой деятельности предприятия, а также основные цели и задачи текущего планирования, организации и управления производства и т. д. Планирование производства товаров, товаров и услуг должно удовлетворять на всех действующих предприятиях, конкретные потребности клиентов, клиентов или потребителей и быть тесно связанными с разработкой общей стратегии развития компании, проведения маркетинговых исследований, конструирования конкурентоспособной продукции, организации ее производства и продаж, а также выполнения других функций и видов внутрихозяйственной деятельности.

В современных условиях на рынке требуется производство целевых продуктов для потребителей, разнообразие выполняемых работ и услуг, обновление товаров по инициативе покупателей, частая покупка ресурсов, планирование наступательных операций с конкурентами, внедрение гибкие бюджеты и непредвиденные расходы и т. д. Гибкая политика производства предприятий или фирм при планировании может вступать в конфликт с целями отдельных подразделений и функциональных служб, которые стремятся к массовому производству товаров (производственная военная служба), ограниченное количество продуктов (отделы проектирования), постоянные бизнес-планы (плановые услуги), стандартизированные транзакции (маркетинговые услуги), пассивные действия против конкурентов (юридические услуги).

В процессе планирования производства и реализации продукции необходимо достичь компромисса между возможностями производства и сбыта товаров, возможностью замены новых продуктов старыми, расходами на хранение и транспортировку ресурсов, инвестиций и доходов, расходов и прибыли, потенциала развития и инвестиций, новых услуг и рисков и т. п. Поэтому в процессе разработки производственных планов необходимо

развивать общие цели и стимулировать контакты между отдельными подразделениями, привлекать специалистов к планированию, которые сочетают технические, маркетинговые и экономические цели, создают межфункциональные рабочие группы планировщиков и разрабатывают интегрированные программ развития производства, адаптированных к конкретным задачам каждого подразделения.

Планирование производства и реализации продукции - это процесс разработки и реализации основных задач годового плана, включая прогнозирование потребностей рынка на ближайшее будущее. Для этой цели необходимо выбрать и обосновать наиболее важные области промышленной и предпринимательской деятельности, установить объем производства и продажи товаров и рассчитать спрос на все виды экономических ресурсов. В свою очередь, это включает в себя обеспечение баланса производственной программы и производственных мощностей, определение объема и сроков выполнения работ и услуг, оперативное управление производственной деятельностью и корректировку начальных запланированных дисплеев и т. Д.

В современных условиях производители и предприниматели самостоятельно планируют текущую и перспективную производственную и хозяйственную и финансово-экономическую деятельность, определяют стратегию и программу развития и расширения производства на основе рыночного спроса на продукцию, работы и услуги предприятия, а также необходимость достижения баланса спроса и предложения, получения высоких доходов и личных доходов персонала, реализации других социально-экономических проблем и оперативно-тактических целей или задач в плане.

2.2 Объект и методы исследования

Объектом исследования является цех получения триоксида вольфрама, основным аппаратом которого является барабанная печь с производительностью 400 тонн в год по готовой продукции.

Расчет изменения энергии Гиббса химической реакции и нахождение констант равновесия осуществляется согласно методу Темкина-Шварцмана. Расчет материальных потоков осуществляется на основе закона сохранения масс.

3.1 Сравнение технологий вольфрамсодержащего сырья

В промышленности используют различные способы переработки концентратов с целью получения триоксида вольфрама. Конечными продуктами процессов переработки сырья обычно являются гидратированный триоксид $WO_3 \cdot H_2O$ (технологическое название – вольфрамовая кислота) или паравольфрамат аммония (ПВА) $5(NH_4)_2O \cdot 12WO_3 \cdot 5H_2O$, при термическом разложении которых получают WO_3 .

В таблице 5 приведено сравнение технологий переработки вольфрамсодержащего сырья.

Таблица 5 – Сравнение технологий переработки вольфрамсодержащего сырья

Выщелачивающий реагент	Спекание с Na_2CO_3	Фтораммонийная технология	Na_2CO_3 (автоклав)
Характеристика			
Требования к сырью	Содержание WO_3 не менее 50 %	-	-
Стоимость реагента	Высокая	Низкая	Средняя
Экологические риски, отходы	Низкие	Низкие	Низкие
Условия процесса	Атмосферное давление, $T = 850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{выщ.}} = 5-7$ часов	Атмосферное давление, $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{выщ.}} = 2$ часов	Повышенное давление (25 атмосфер), $T = 225\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{выщ.}} = 6$ часов
Регенерация реагентов	Нет	Да	Да
Капитальные вложения	Средние	Средние	Высокие

Из таблицы 5 видно, что используемая фтораммонийная технология является наиболее выгодной, безопасной и более простой в плане ведения процесса.

3.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки с имеющимися аналогами и определить направления для ее будущего совершенствования.

Для анализа взяты три технологии переработки вольфрамсодержащего сырья из таблицы 5. В таблице 6 приведена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технологий

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _{спек} Na ₂ CO ₃	Б _{фтор}	Б _{автоклав}	К _{спек} Na ₂ CO ₃	К _{фтор}	К _{автоклав}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,02	4	4	3	0,08	0,08	0,06
2. Безопасность	0,05	2	3	3	0,10	0,15	0,15
3. Сложность ведения процессов	0,02	4	3	4	0,08	0,06	0,08
4. Рекуперация энергии, регенерация реагентов	0,08	5	2	3	0,40	0,16	0,24
5. Автоматизация процессов	0,06	3	4	4	0,18	0,24	0,24
6. Сложность оборудования	0,06	2	3	3	0,12	0,18	0,18
7. Степень вскрытия	0,11	4	5	4	0,44	0,55	0,44
8. Исходное сырье	0,12	5	5	5	0,60	0,6	0,60
9. Экологические риски	0,10	4	4	4	0,40	0,4	0,40

Экономические критерии оценки эффективности							
1. Стоимость реагента	0,10	4	3	2	0,40	0,3	0,20
2. Капитальные вложения	0,08	3	4	4	0,24	0,32	0,32
3. Конкурентоспособность	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	4	3	4	0,16	0,12	0,16
5. Срок выхода на рынок	0,04	4	5	5	0,16	0,20	0,20
6. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	4	0,20	0,2	0,20
ИТОГО	1				3,84	3,84	3,75

В результате составления оценочной карты можно сделать вывод, что технология фтораммонийной переработки вольфрамсодержащих руд относительно автоклавного и щелочного (NaOH) вскрытий является конкурентоспособной.

Основные конкурентные преимущества:

- регенерация выщелачивающего агента (уменьшение себестоимости продукции);
- технология может использоваться для вскрытия как богатых вольфрамом (45-64 % WO_3), так и низкосортных концентратов (от 5 % WO_3);
- нет необходимости проводить обогащение бедных концентратов (сокращение затрат);
- меньшая стоимость выщелачивающего агента;
- более простые условия проведения процесса;
- исключение нанесения вреда экологии.

3.3 Расчет затрат на аренду и модернизацию помещения

Величина капитальных затрат на здание участка гидрометаллургической переработки сырья и его сооружение определяется по укрупненным параметрам. Такими параметрами являются: стоимость 1м^3 здания согласно

действующим поясным ценам на аренду. Выбираем под участок помещение: длина которого составляет 18 м, ширина – 12 м, высота – 5 м. Производственная площадь – 216 м², периметр здания 60 м. Стоимость 1 м² производственного помещения варьируется от 5000 до 15000 р. (Томская область) [9]. Возьмем значение ниже средней стоимости – 6950 р. Таким образом, за аренду помещения в месяц тратится 1500000 руб. В год аренда здания будет обходиться в 18000000 р.

Таблица 7 – Затраты на санитарно-технические работы

Затраты	% от затрат на модернизацию здания	Цена, руб.
Отопление	5	375000
Вентиляция	5	375000
Водопровод	3	225000
Канализация	3	225000
Освещение	2	150000
Итого	18	1350000

Общая стоимость здания составит:

$$C_{зд.} = 18000000 + 1350000 = 19350000 \text{ руб.}$$

3.4 Расчёт эффективного фонда времени

Проектируемый цех будет работать в непрерывном режиме без выходных и праздничных дней, с остановками для выполнения ТР и ППР, производимых согласно действующему утвержденному графику один раз в 2 месяца в течение двух дней.

Проектируемый участок работает круглосуточно в три смены (дневная, вечерняя и ночная), продолжительностью по 8 часов каждая. Работа будет производиться 4-мя производственными бригадами.

Длительность сменоборота:

$$T_{см.об.} = n_{б} \cdot T_{М}, \quad (3.1)$$

где n_6 – число бригад;

T_M – число дней, когда бригада ходит в смену (4 дня).

Длительность сменоборота составила:

$$T_{\text{см.об.}} = n_6 \cdot T_M = 4 \cdot 4 = 16 \text{ дней.}$$

График сменности бригад отображена в таблице 8, где А, В, С, D – бригады. Длительность отдыха рабочего в году составляет 118 дней.

Таблица 8 – График сменности

Номер смены	Часы работы	Дни месяца															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0-8	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D
2	8-16	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C
3	16-24	B	B	C	C	C	C	D	D	D	D	A	A	A	A	B	B
Отдых		D	C	B	B	A	D	C	C	B	A	D	D	C	B	A	A

В таблице 9 приведены значения баланса эффективного времени среднесписочного рабочего. Данные получены исходя из производственного календаря РФ на 2018 год [10].

Таблица 9 – Баланс эффективного времени среднесписочного рабочего

Показатель	Дни	Часы
Календарное число дней	365	8760
Нерабочие дни (выходные)	118	2832
Номинальный фонд рабочего времени	247	5928
Планируемые выходные:		
а) очередные и дополнительные отпуска	32	768
б) по болезни	10	240
в) выполнение общественных обязанностей	1	24
Эффективный фонд рабочего времени	204	4896

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{\text{эф}} = 204 \cdot 8 = 1632 \text{ часа.}$$

Перечень должностных обязанностей для цеха и их характеристики приведены в таблице 9. Численность производственных рабочих определяется исходя из прогрессивных норм обслуживания при полном обеспечении

технологическим персоналом всех рабочих мест. Число рабочих мест определяется исходя из необходимых точек наблюдения и операций по обслуживанию процесса, а также объема работы управления в цехе.

Определим явочную численность основных рабочих в сутки:

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{H_{\text{обс}}} \cdot F \cdot C \quad (3.2)$$

где $N_{\text{яв}}$ – явочная численность рабочих в сутки, чел.;

$N_{\text{обсл.}}$ – количество аппаратов, которое может обслуживать один аппаратчик;

F – количество установок;

C – количество смен в сутки.

$$N_{\text{яв}} = \frac{1}{4} \cdot 4 \cdot 3 = 3 \text{ чел.}$$

Небольшое количество технологического персонала (основных производственных рабочих) цеха обусловлено особенностями работы, которая заключается в основном в наблюдении за ходом процесса, это связано с высоким уровнем автоматизации оборудования участка.

Определим списочное число основных рабочих:

$$N_{\text{сп}} = N_{\text{яв}} \cdot \frac{T_{\text{эф.обор.}}}{T_{\text{эф.раб.}}} \quad (3.3)$$

где $N_{\text{сп}}$ – списочная численность основных рабочих, чел.;

$T_{\text{эф.обор.}}$ – проектируемое число дней работы оборудования в год;

$T_{\text{эф.раб.}}$ – проектируемое число дней работы в год одного рабочего.

$$N_{\text{сп}} = 6 \text{ чел.}$$

Принимаем 6 человек в штат основных рабочих данного цеха.

Таблица 10 – Численность основных рабочих

№	Наименование профессий	Тариф. разряд	Число рабочих в смену	Число смен в сутки	$N_{\text{яв.}}$ в сутки	$N_{\text{сп.}}$ в сутки
1	Аппаратчик	5	1	3	3	6
2	Аппаратчик	6	1	3	3	6

Списочное число рабочих дежурного персонала:

Комплектуем цех вспомогательным персоналом, который будет заниматься обслуживанием данного цеха в составе: дежурный механик – 1, дежурный электрик – 1, дежурный КИПиА – 1.

$$N_{\text{яв}} = 3 \cdot 3 = 9 \text{ чел}$$

$$N_{\text{сп}} = \frac{9 \cdot 340}{204} = 15 \text{ чел}$$

Принимаем 15 человек в штат дежурного персонала, осуществляющего обслуживание данного цеха.

При необходимости к работе будут привлекаться дежурные из других цехов, исполняющие данные обязанности по совместительству со своими непосредственными.

Сведем число дежурного персонала в таблицу 11.

Таблица 11 – Количество дежурного персонала

Профессия	Разряд	Число рабочих в смену	Число Смен	$N_{\text{яв}}$	$N_{\text{сп}}$	Число рабочих дней оборуд.
Слесарь	6	1	3	3	5	340
Электрик	6	1	3	3	5	340
сл. КИПиА	6	1	3	3	5	340

Расчет годового фонда заработной платы рабочих цеха и ИТР

Расчетный фонд вычисляется по формуле:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}}, \text{ руб./г.} \quad (3.4)$$

где $Z_{\text{год}}$ – расчетный фонд заработной платы, руб./г;

$Z_{\text{осн.}}$ – основная заработная плата, руб./г;

$Z_{\text{доп.}}$ – дополнительная заработная плата, руб./г.

Основной фонд заработной платы вычисляется по формуле:

$$З_{осн.} = З_{тар.} + Д_{н.вр.} + Д_{пр.дн.} + Д_{пр.} + Д_{вред.}, \text{ руб./г.} \quad (3.5)$$

где $З_{тар.}$ – тарифный фонд, руб./г;

$Д_{н.вр.}$ – доплата за работу в ночное время (40 % от $З_{тар.}$);

$Д_{пр.дн.}$ – доплата за работу в праздничные дни (100 % от $З_{тар.}$);

$Д_{пр.}$ – доплата премий (30 % от $З_{тар.}$);

$Д_{вред.}$ – доплата за вредность (12 % от $З_{тар.}$).

Тарифный фонд заработной платы рассчитывается по тарифным ставкам, исходя из отработанного времени:

$$З_{тар.}^i = Н_{сп.}^i \cdot Т_{эф.раб.} \cdot Т_{ст.}^i, \text{ руб./г.} \quad (3.6)$$

где $З_{тар.}^i$ – тарифный фонд заработной платы рабочих i -ой квалификации;

$Н_{сп.}^i$ – списочная численность рабочих i -ой квалификации в сутки;

$Т_{эф.раб.}$ – эффективное время работы одного среднесписочного рабочего;

$Т_{ст.}^i$ – тарифная часовая ставка рабочего i -ой квалификации.

Для проектируемого цеха к работе будут привлекаться аппаратчики 5-го и 6-го разряда в связи с высокой ответственностью производимых работ. Часовая тарифная ставка аппаратчиков 5-го разряда составляет – 225 руб./ч., 6 - го разряда составляет – 262 руб./ч.

$$З_{тар.}^5 = 6 \cdot 1632 \cdot 225 = 2203200 \text{ руб./г.}$$

$$З_{тар.}^6 = 6 \cdot 1632 \cdot 262 = 2565504 \text{ руб./г.}$$

Доплата за работу в ночное время составляет 30 % от тарифной ЗП:

$$Д_{н.вр.} = 6 \cdot 69 \cdot 8 \cdot 225 \cdot 0,3 = 223560 \text{ руб./г.}$$

$$Д_{н.вр.} = 6 \cdot 69 \cdot 8 \cdot 262 \cdot 0,3 = 260323 \text{ руб./г.}$$

Доплата за работу в вечернее время составляет 30 % от тарифной ЗП:

$$Д_{н.вр.} = 6 \cdot 70 \cdot 8 \cdot 225 \cdot 0,3 = 226800 \text{ руб./г.}$$

$$Д_{н.вр.} = 6 \cdot 70 \cdot 8 \cdot 262 \cdot 0,3 = 264096 \text{ руб./г}$$

Доплата за работу в праздничные дни (в году 12 праздничных дней) составляет 100 % от тарифной ЗП:

$$Д_{пр.дн.} = 6 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 225 \cdot 2 = 259200 \text{ руб./г.}$$

$$Д_{пр.дн.} = 6 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 262 \cdot 2 = 301824 \text{ руб./г.}$$

Доплата премий составляет 30% от тарифной ЗП:

$$Д_{пр.} = 226800 \cdot 0,3 = 68040 \text{ руб./г.}$$

$$Д_{пр.} = 264096 \cdot 0,3 = 79221 \text{ руб./г.}$$

Доплата за вредность составляет 12% от тарифной ЗП:

$$Д_{вред.} = 226800 \cdot 0,12 = 27216 \text{ руб./г.}$$

$$Д_{вред.} = 264096 \cdot 0,12 = 31692 \text{ руб./г.}$$

Таким образом, основной фонд ЗП составит:

$$З_{осн.} = 2203200 + 2565504 + 223560 + 260323 + 226800 + 264096 + 259200 + 301824 + 68040 + 79221 + 27216 + 31692 = 6510676 \text{ руб./г.}$$

Дополнительный фонд ЗП рассчитывается по формуле:

$$З_{доп.} = З_{осн.} \cdot П_{д.зп} \quad (3.7)$$

где $П_{д.зп}$ – процент доплаты (принимается 10 %).

$$З_{доп.} = 6510676 \cdot 0,1 = 651067,6 \text{ руб./г.}$$

Расчетный годовой фонд ЗП таким образом составит:

$$З_{год} = 6510676 + 651067,6 = 7161743,6 \text{ руб./г.}$$

Все начальники цеха должны являться инженерами-технологами первой категории, со стажем работы не менее 5 лет. Часовая тарифная ставка инженера-технолога 1 категории составляет – 300 руб./ч.

$$З_{тар.1} = 2 \cdot 1632 \cdot 300 = 979200 \text{ руб./г.}$$

Доплата премий составляет 30% от тарифной ЗП:

$$Д_{пр.} = 979200 \cdot 0,3 = 293760 \text{ руб./г.}$$

Таким образом, основной фонд ЗП составит:

$$З_{осн.} = 979200 + 293760 = 1272960 \text{ руб./г.}$$

Дополнительный фонд ЗП:

$$З_{доп.} = З_{осн.} \cdot П_{д.зп} = 1272960 \cdot 0,1 = 127296 \text{ руб./г.}$$

где $П_{д.зп}$ – процент доплаты (принимается 10 %).

Расчетный годовой фонд ЗП таким образом составит:

$$З_{\text{год}} = 1272960 + 127296 = 1400256 \text{ руб./г.}$$

Для мастеров смен (инженеров-технологов 3 категории):

$$З_{\text{тар.з}} = 4 \cdot 1632 \cdot 284 = 1853952 \text{ руб./г};$$

$$Д_{\text{в.см.}} = 4 \cdot 72 \cdot 8 \cdot 284 \cdot 0,3 = 196301 \text{ руб./г};$$

$$Д_{\text{н.см.}} = 4 \cdot 102 \cdot 8 \cdot 284 \cdot 0,4 = 370790 \text{ руб./г};$$

$$Д_{\text{пр.}} = 1853952 \cdot 0,3 = 556186 \text{ руб./г};$$

$$З_{\text{осн.}} = 1853952 + 196301 + 370790 + 556186 = 2977229 \text{ руб./г};$$

$$З_{\text{доп.}} = З_{\text{осн.}} \cdot П_{\text{д.зп}} = 2977229 \cdot 0,1 = 297722,9 \text{ руб./г};$$

$$З_{\text{год}} = 2977229 + 297722,9 = 3274951,9 \text{ руб./г};$$

Общий годовой фонд заработной платы составит :

$$З_{\text{год}} = 3274951,9 + 1400256 + 7161743,6 = 11836951,5 \text{ руб./г.}$$

Расчет годового фонда заработной платы вспомогательных рабочих цеха

Тарифный фонд вспомогательного персонала рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{тар.}} = П_{\text{мес.}} \cdot Т_{\text{окл.}}, \text{ руб./г.} \quad (3.8)$$

где $З_{\text{тар.}}$ – тарифный фонд ЗП, руб./г;

$П_{\text{мес.}}$ – число месяцев, отработанных в год каждым работником (принимается 11 месяцев для всего персонала);

$Т_{\text{окл.}}$ – штатный месячный оклад, р.

Таблица 12 – Состав вспомогательного персонала

Наименование должности	Месячный оклад, руб.
Дежурный механик	26 800
Дежурный электрик	26 800
Дежурный КИПиА	26 800

Основная заработная плата служащих и прочего персонала рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{осн.}} = З_{\text{тар.}} + Д_{\text{пр.дн.}} + Д_{\text{вред.}}, \text{ руб./г} \quad (3.9)$$

$$Д_{\text{пр.дн.}} = (Т_{\text{окл.}}/20,25) \cdot N \cdot Н_{\text{яв.}}, \text{руб./г.} \quad (3.10)$$

где $T_{\text{окл.}}$ – месячный оклад;

N – количество праздничных дней в году;

20,25 – среднемесячное число рабочих дней;

$Д_{\text{вред.}}$ – доплата за вредность (12 % от $З_{\text{тар.}}$).

Дополнительная заработная плата вспомогательного и прочего персонала принимается 10 % от $З_{\text{тар.}}$.

Для вспомогательного и прочего персонала:

$$З_{\text{тар.}} = 12 \cdot 1632 \cdot 204 = 3995136 \text{ руб./г.};$$

$$Д_{\text{н.вр.}} = 12 \cdot 91 \cdot 8 \cdot 204 \cdot 0,3 = 534643 \text{ руб./г.};$$

$$Д_{\text{пр.дн.}} = 12 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 204 \cdot 2 = 352512 \text{ руб./г.};$$

$$Д_{\text{пр.}} = 3995136 \cdot 0,3 = 1198541 \text{ руб./г.};$$

$$Д_{\text{вред.}} = 3995136 \cdot 0,12 = 479416 \text{ руб./г.};$$

$$З_{\text{осн.}} = 3995136 + 534643 + 352512 + 1198541 + 479416 = 6560248 \text{ руб./г.};$$

$$З_{\text{доп.}} = 6560248 \cdot 0,1 = 656024,8 \text{ руб./г.};$$

$$З_{\text{год}} = 6560248 + 656024,8 = 7216272,8 \text{ руб./г.}$$

Полный годовой фонд заработной платы составляет:

$$\Phi_{\text{зп}} = 7161743,6 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды:

Размер отчислений на социальные нужды составляет 30 % от полного годового фонда заработной платы:

Отчисления от заработной платы составляют 30% от $З$:

$$З_{\text{соц.}} = 18998695 \cdot 0,3 = 5699608,5 \text{ руб/год.}$$

3.5 Расчет капитальных затрат

Расчет капитальных затрат на приобретение и монтаж оборудования представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Стоимость оборудования

Наименование	Количество, шт	Цена за шт., руб.	Цена, руб
Основное оборудование			
Выпарной аппарат	1	1500000	1500000
Барабанный вакуумный фильтр	1	950000	950000
Барабанная печь	1	4000000	4000000
Ёмкость разгрузки печи	1	180000	180000
Абсорбер	1	700000	700000
Дополнительное оборудование			
Ёмкость хранения NH_4OH	1	200000	200000
Насос	6	80000	480000
Вентилятор	5	20000	100000
Итого			8110000

Таблица 14 – Расходы на наладку и монтаж оборудования

Затраты	% от стоимости оборудования	Цена, руб
Устройство фундаментов	10	801000
Технологические трубопроводы	20	1602000
Антикоррозионные работы	5	405000
Кабельные разводки	5	405000
КИПиА	10	801000
Монтаж оборудования	20	1602000
Вспомогательное оборудование	5	405000
Итого	75	6021000

Общие капитальные затраты (без стоимости помещения) составят:

$$C_{\text{кап}} = C_{\text{обор.}} + \Sigma C_{\text{затр.}} = 8110000 + 6021000 = 14131000 \text{ руб.}$$

Таблица 15 – Полные капитальные затраты

Наименование	Капитальные затраты	
	Руб.	%
Здание	19350000	57,79
Оборудование	14131000	42,21
Итого	33481000	100

Расходы на содержание здания:

Затраты на содержание здания составляют 2 % от стоимости здания:

$$З_{\text{сод.}} = 19350000 \cdot 0,02 = 387000 \text{ руб/г.}$$

Затраты на текущий ремонт здания также составляют 2 % от стоимости здания:

$$З_{\text{т.р.}} = 19350000 \cdot 0,02 = 387000 \text{ руб/г.}$$

Амортизационные отчисления на здание отсутствуют, так как здание арендуется.

Сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания:

$$\Sigma Z_1 = З_{\text{сод.}} + З_{\text{т.р.}} + A_{\text{зд.}} = 774000 \text{ руб/г.}$$

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:

Ремонтный фонд составляет 15 % от стоимости оборудования:

$$\Phi_{\text{т.р.}} = 14131000 \cdot 0,15 = 2119650 \text{ руб/г.}$$

Расходы на содержание составляет 5 % от стоимости оборудования:

$$З_{\text{сод.}} = 14131000 \cdot 0,05 = 706550 \text{ руб/г.}$$

Отчисления на амортизацию оборудования (10 % от стоимости):

$$A_{\text{об.}} = C_{\text{затр.}} \cdot \alpha = 14131000 \cdot 0,1 = 1413100 \text{ руб/г.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$\Sigma Z_2 = \Phi_{\text{т.р.}} + З_{\text{сод.}} + A_{\text{об.}} = 2119650 + 706550 + 1413100 = 4239300 \text{ руб/г.}$$

Общепроизводственные расходы составят:

$$З_{\text{общ.}} = \Sigma Z_1 + \Sigma Z_2 = 774000 + 4239300 = 5013300 \text{ руб./г.}$$

Расчет технологических затрат

Расчет затрат на электроэнергию:

$$З_{\text{эл.}} = T_{\text{э}} \cdot N_{\text{т}} \cdot T_{\text{р.об.}}, \quad (3.12)$$

где $T_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, руб. (3,25 руб.);

$N_{\text{т}}$ – суммарная мощность, кВт (1800 кВт);

$T_{\text{р.об.}}$ – время работы оборудования в год, час (8160 час).

$$З_{\text{эл.}} = 3,25 \cdot 1800 \cdot 8160 = 47736000 \text{ руб./год.}$$

Расчет затрат на воду:

$$З_{\text{вод.}} = T_{\text{в}} \cdot T_{\text{р.об.}} \cdot B, \quad (3.13)$$

где $T_{\text{в.}}$ – стоимость 1 м³ воды, руб. (35 руб/м³);

B – часовой расход воды, м³ (5 м³/ч).

$$З_{\text{вод.}} = 35 \cdot 8160 \cdot 5 = 1428000 \text{ руб./год.}$$

Затраты на освещение:

$$З_{\text{осв.}} = \left(\frac{15 \cdot S_{\text{п}} \cdot M \cdot T_{\text{р.об.}}}{1000} \right) \cdot T_{\text{э}},$$

где 15 – количество Ватт на 1 м² пола;

$S_{\text{п}}$ – площадь пола, м² (216 м²);

M – количество часов искусственного освещения в сутки (24 ч.);

$T_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (2,28 руб.);

$T_{\text{р.об.}}$ – число дней работы производства в году, (365 дней).

$$З_{\text{осв.}} = (15 \cdot 216 \cdot 24 \cdot 365 / 1000) \cdot 2,28 = 44939 \text{ руб./год.}$$

Затраты на вентиляцию:

$$З_{\text{вент.}} = (P_{\text{э.д.}} \cdot T_{\text{КАЛ}}) \cdot T_{\text{э}}, \quad (3.14)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарный фонд времени (час);

$P_{\text{э.д.}}$ – мощность электродвигателя вентиляции, кВт;

Установим в цехе вентиляторы в количестве 5 штук, ($P_{\text{э.д.}} = 15$ кВт).

$$З_{\text{вент.}} = (15 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365) \cdot 2,28 = 1497960 \text{ руб./год.}$$

Затраты на отопление:

$$З_{\text{отоп.}} = \left(\frac{a \cdot S_{\text{п.т.}} \cdot V_{\text{о.п.}}}{1000} \right) \cdot T_{\text{э}},$$

где а – количество тепла на 1 м³ помещения, кВт (4,4 кВт);

Т – продолжительность отопительного сезона, ч (4344 ч).;

V_{зд} – объем отапливаемого помещения, м³ (750 м³).

$$З_{\text{отоп.}} = (4,4 \cdot 4344 \cdot 750) / 1000 = 14335 \text{ руб/год.}$$

Затраты на ОТ и ТБ составляют 12% от Ф_{общ.}:

$$З_{\text{от. тб.}} = 18998695 \cdot 0,12 = 2279843 \text{ руб/год.}$$

Калькуляция себестоимости передела

Расчет себестоимости цеха приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Калькуляция стоимости передела

Статьи затрат	Цена ед. прод., руб.	Сумма, млн. руб./год
Затраты на эл. энергию	руб.	47,7360
Итого условно-переменные затраты		47,7360
Фонд ЗП:	руб.	18,998695
Отчисления на соц. нужды	руб.	5,6996085
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:		
амортизация оборудования	руб.	14,13100
тек.и кап. ремонты	руб.	2,11965
содержание оборудования	руб.	0,70655
Цеховые расходы:		
Аренда здания	руб.	18
Содержание здания		0,774000
Тек.и кап. ремонты		2,279843
Расходы на ОТ и ТБ	руб.	
Итого условно-постоянные затраты		62,7093465
Себестоимость передела		110,4453465

Таким образом, себестоимость передела составляет 110,45 млн. рублей в год. Цена 1 кг 99,9 % триоксида вольфрама составляет 30 \$ (1700 рублей). Так как цех триоксида вольфрама является не единственным цехом, участвующим в производстве, то он получает от продажи 400 тонн WO_3 в год только долю 15 %.

Получается, что при общей стоимости 400 тонн триоксида вольфрама 680 млн. руб/год, цех получения триоксида вольфрама получает 102 млн. руб/год. Окупаемость производства составляет чуть больше года.

3.6 Заключение по разделу

Разработка данного цеха позволяет уменьшить себестоимость передела в целом, путем сокращения затрат на аренду, содержание и эксплуатацию оборудования. Так же, за счет использования сравнительно малых температур, избыточного давления и менее токсичных реагентов, в проектируемом цехе реализуются более безопасные условия труда для всех работников. За счет регенерации реагентов сокращаются расходы на закупку сырья не только данного цеха, но и предшествующих. Относительно других технологий переработки вольфрамовых концентратов, в данной технологии уменьшены экологические риски и сокращено количество отходов, что улучшает показатели охраны окружающей среды.

5 Автоматизация процесса получения триоксида вольфрама

Триоксид вольфрама в данной технологии производится из паравольфрамата аммония (ПВА), который предварительно получают из вольфрамового концентрата. Изначально в цех получения триоксида вольфрама поступает жидкий паравольфрамат аммония, который нужно перевести в твердое состояние для прокаливания в печи. Для получения твердого ПВА, его необходимо упарить в выпарном аппарате. Для получения наиболее качественного продукта, необходимо регулировать pH (контур 1-2) с помощью вентилей (2). Выпарной аппарат оснащен вибрационным сигнализатором верхнего уровня (3-1) для предотвращения перелива раствора. Для ускорения упаривания ПВА проводится нагрев рабочей зоны аппарата до 60 °С. Температура измеряется термометром (4-1), а регулируется за счет терморегулятора (5).

Полученный твердый паравольфрамат аммония (ПВА) перегружается в бункер загрузки печи для подачи в печь. Этот бункер оснащен датчиком веса (6-1), для контроля подачи ПВА в печь. Так же бункер загрузки печи оснащен двумя датчиками уровня (по верхнему уровню – 9-1 и по нижнему уровню – 10-1), для исключения незапланированного опустошения и переполнения бункера загрузки печи.

ПВА подается в печь из бункера загрузки печи с помощью шнекового питателя, обороты которого задаются частотным преобразователем (7-1) и регулируются устройством (8). Частота оборотов шнека – 30 об/мин. Измерение и регулирование частоты оборотов шнека, необходимо для контроля равномерной подачи ПВА в печь (не более 50,2 кг/ч). Реторта печи приводится в движение двигателем, оснащенным частотным преобразователем (16-1) и регулируется устройством (17). Вращение производится с частотой 8,4 об/мин. Температура процесса прокаливания ПВА 600 °С. Условно, печь поделена на 3 зоны, температура в каждой из которых измеряется термопарами (11-1, 13-1 и

15-1), а регулируется только в первых двух зонах терморегуляторами (12 и 14). Температура в третьей зоне печи не регулируется, а только измеряется.

После прокаливания, готовый продукт триоксида вольфрама ссыпается в разгрузочный бункер, под которым установлен тензодатчик (18) для измерения веса готовой продукции.

Отходящие газы из печи поступают в абсорбер, где они абсорбируются водой, которая поступает по трубопроводу, оснащённому расходомером (20) и регулируется контуром (19-1). Полученный жидкий гидроксид аммония перетоком поступает в промежуточную ёмкость хранения, оснащённую датчиком верхнего уровня (21-1). Регулирование уровня происходит за счёт работы вентеля (22), через который гидроксид аммония поступает в накопительную ёмкость.

5.1 Перечни технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию, сигнализации

Контролю подлежат такие параметры, знание которых облегчает пуск, наладку и нормальное ведение технологического процесса. К таким параметрам относятся все регулируемые величины, нерегулируемые внутренние параметры, входные и выходные параметры, при изменении которых в объект могут поступать возмущающие воздействия [3].

Контролю подлежат следующие параметры:

- расход паравольфрамата аммония (ПВА);
- верхний уровень смеси вольфрамового и аммиачного раствора;
- температура раствора в процессе смешения и образования ПВА;
- вес полученного ПВА;
- верхний и нижний уровень полученного ПВА;
- температура в печи;
- вес полученного триоксида вольфрама;
- скорость вращения шнека и реторты печи;

- концентрация водного раствора аммиака в смеси;
- расход подаваемой воды в абсорбер;
- верхний уровень гидроксида аммония.

Регулированию подлежат:

- расход исходного вольфрамсодержащего раствора;
- концентрация ПВА;
- температура процесса упаривания ПВА;
- частота вращения реторты и шнека;
- температура в печи;
- расход воды в абсорбере;
- уровень гидроксида аммония в промежуточной емкости.

Сигнализации подлежат все параметры, изменения которых могут привести к аварии, несчастным случаям или серьёзному нарушению технологического режима.

Сигнализации подлежат:

- уровень ПВА в выпарном аппарате;
- верхний и нижний уровень ПВА в бункере загрузки в печь;
- верхний уровень гидроксида аммония в промежуточной емкости.

5.2 В данной схеме автоматизации используются следующие контрольно-измерительные приборы

1. Электромагнитный расходомер жидкости МПР-380:

Количество – 1 шт.;

Диапазон измерений 0,1-20 м³/ч;

Номинальный расход 4 м³/ч;

Питание 12 В;

Класс пыли/влагозащиты – IP67/IP68

Без индикации.

2. Вибрационный датчики уровня INNO Level VIBRO:

Количество – 4 шт.;

Плотность материала – от 60 г/л;

Диапазон рабочей температуры – от –40 до +150 °С;

Степень защиты IP65.

3. Термопара ТП-2088:

Количество – 4 шт.;

Диапазон измерений - –40....+850 °С;

Степень защиты от пыли и влаги IP65.

4. Частотный преобразователь Dropshipping M2 500:

Количество – 2 шт.;

5. Цифровой датчик pH Orbisint CPS11D:

Количество – 1 шт.

Диапазон измерения pH – (0-14);

Принцип измерения – Стекланный электрод;

Рабочая температура – макс. 135°С;

Рабочее давление – макс. 16 бар;

Степень защиты – IP68.

5.3 Заключение по разделу

В представленном разделе разработана автоматизация процесса получения триоксида вольфрама, составлена схема автоматизации. Данная схема содержит цепочку аппаратов подлежащих автоматизации, расположение и назначение необходимых контрольно-измерительных приборов.

Определены перечни технологических параметров, подлежащих контролю, регулированию и сигнализации. Представлен список контрольно-измерительных приборов, используемых в автоматизации цеха.

Список публикаций студента

1. Шестаков И.Г. Исследование содержания ценных компонентов в парах печи фторирования вольфрамового концентрата / Шестаков И.Г., Передерин Ю.В., Кантаев А.С., Крайденко Р.И. // Химия и химическая технология / Ползуновский вестник / Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (АлтГТУ). – 2017. – № 2. – [С. 86-89].